



Anejo nº 20

FIRMES

AMPLIACIÓN SUR DEL PUERTO DEPORTIVO Y PESQUERO DE LAS CASAS DE
ALCANAR

Autor: Rubén Marín Tejadillos

Índice

1. Introducción	3
2. Clasificación establecidas por la ROM	3
2.1. Clasificación según el uso	3
2.2. Estudio de los diferentes tipos de cargas	4
2.3. Índices de intensidad de uso	5
2.4. Las cargas de cálculo según el uso	6
2.5. La intensidad de uso según el uso de la instalación	8
2.6. Categoría del tráfico	9
3. Rellenos y explanadas	9
3.1. Rellenos	9
3.2. Explanadas	10
4. Los diferentes materiales utilizados para los firmes y los pavimentos	11
4.1. El hormigón vibrado	11
4.2. El hormigón compactado con rodillo	12
4.3. El hormigón armado	12
4.4. Las adoquines prefabricadas de hormigón	12
4.5. Las adoquines de piedra labrada	13
4.6. Los pavimentos asfálticos	13
5. Dimensionamiento de los firmes del puerto de las casas de Alcanar	14
5.1. Los factores de dimensionamiento de los firmes portuarios	14
5.2. Características de los firmes del puerto de las casas de Alcanar	15
5.3. Los firmes del puerto de las casas de Alcanar	16

Índice de tablas

1. Tabla 1: Categoría de la explanada	11
---------------------------------------	----

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este anejo es la determinación de los diferentes firmes que se van a tener en el puerto de Les Cases d'Alcanar. Se van a distinguir los firmes de las zonas viales y de las otras zonas portuarias.

Se utilizará la ROM 4.1-94 "Proyecto y Construcción de Pavimentos Portuarios" que permite tratar todo tipo de firme de forma independiente de su tipo y de su destino.

2. CLASIFICACIONES ESTABLECIDAS POR LA ROM

2.1. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL USO

La ROM 4.1-94 clasifica las superficies según el uso de destino : uso deportivo y uso pesquero, y después diferencia las actividades de movimiento y las de almacenamiento :

Uso deportivo

Comprende todas las instalaciones con abrigo natural o artificial en las que se realiza una función específica de deporte y recreo. En cuanto a la clasificación de sus superficies terrestres portuarias cabe considerar diferentes casos :

- Zonas de operación y varada

Comprenden las destinadas a los accesos de muelles y las adyacentes a las rampas de varada, así como los talleres y almacenes de embarcaciones.

- Zonas complementarias

Destinadas al club náutico, comercios, etc. Incluyen las zonas de estacionamiento de vehículos y los edificios ligados directamente a la explotación portuaria

Uso pesquero

Es el relacionado directamente con la actividad pesquera. En estas zonas no sólo tiene lugar el paso de la pesca, sino que es donde se abastecen y atracan las embarcaciones. Además son centros de contratación de la pesca, punto de partida para su distribución y comercio. La mayor parte de las instalaciones no necesitan unos pavimentos con requerimientos especiales, pero en algunas de ellas existen los derivados de exigencia especiales de higiene. Se pueden distinguir las zonas a continuación:

- Zonas de operación

Zona donde se produce la manipulación de la pesca y el cambio del modo de transporte marítimo al terrestre. Una diferencia de situaciones viene dada en función de si se trata de pesca de bajura o de altura, por cuanto las acciones que pueden actuar son diferentes en cada caso

- Zona de clasificación, preparación y venta

En esta zonas es donde se clasifica y prepara la pesca, se procede a su venta, se almacena para su posterior exportación y donde se carga el pescado a los camiones para su distribución terrestre.

- Vías de comunicación

Se distinguen las vías de maniobra y los viales de acceso.

- Zonas complementarias

Diferencia las superficies destinadas preferentemente a la circulación y las destinadas al estacionamiento.

2.2. ESTUDIO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CARGA

Para la caracterización de las cargas en las superficies portuarias, la ROM establece tres grupos de cargas a considerar. En primer lugar las cargas transmitidas al pavimento por las mercancías o materiales almacenados o acopiados en la superficie. En segundo lugar, las cargas transmitidas directamente por los equipos que se emplean para la manipulación de los materiales y mercancías. Por último, se consideran las cargas del tráfico pesado convencional.

Cargas de estacionamiento y almacenamiento

Se pueden definir como cargas variables, debidas al peso de las mercancías. Su actuación y distribución es constante durante un período de tiempo. Para determinar el valor de esta acción se considera el uso previsto para la superficie, así como la zona en la que actúa y la forma en que solicita al firme, considerando los siguientes factores:

- Naturaleza de la mercancía, en este caso, embarcaciones
- Forma de presentación
- Formas y dimensiones
- Métodos y equipos de manipulación.

Estas cargas se consideran verticales y concentradas. Su actuación no supone aceleraciones significativas en los firmes.

Cargas de los equipos e instalaciones de manipulación

Son las cargas transmitidas por los sistemas y equipos de manipulación, de carácter variable que podemos clasificar según la movilidad:

- Sobre carriles o vigas carril: Equipos de circulación restringida
- Sobre neumáticos y orugas: Equipos de circulación no restringida.

Para la determinación de las características superficiales de los pavimentos se considerarán los esfuerzos horizontales que pueden ser importantes.

Cargas de los equipos de elevación de embarcaciones

Los sistemas y equipos automóviles de elevación de barcos de pequeño desplazamiento transmiten cargas variables, que se localizan en las zonas de operación o varada, sin restricciones en su circulación.

Cargas de tráfico pesado convencional

Se consideran para el cálculo de los firmes de los viales de acceso, así como de los firmes de las zonas complementarias. En este grupo se incluyen los camiones de carga útil superior a las 3 toneladas, de más de 4 ruedas y sin remolque, los camiones con uno o varios remolques, los vehículos articulados, los vehículos especiales y los vehículos dedicados al transporte de personas con más de 9 plazas.

Las presiones máximas de contacto varían de 0,6 a 0,9 MPa aproximadamente, aunque los efectos dinámicos pueden llegar a alcanzar presiones de 1,5 MPa.

2.3. ÍNDICES DE INTENSIDAD DE USO

El índice de intensidad de uso da una idea, por una parte, del número de veces que durante la vida útil se aplican unas determinadas cargas en una superficie; pero, sobre todo, representa la mayor o menor importancia de esa superficie en relación con la explotación portuaria y, por tanto, la mayor o menor incidencia en esta explotación de los deterioros que se pudieran producir en el firme.

Ese índice se ha de calcular en función de la actividad del puerto. En el caso de los viales de acceso se ha de recurrir a la intensidad media diaria de vehículos pesados en el año medio de la vida útil.

En el proyecto de ampliación sur del puerto de Las Casas de Alcanar, nos centraremos en los usos de tipo deportivo :

Zonas de operación o varada.

Operaciones de atraque más desatraque de embarcaciones deportivas con 6 metros o más de eslora en el año medio de la vida útil. Se tomará como **media**.

Zonas complementarias. Circulación.

La clasificación de las Intensidades Medias Diarias de vehículos pesados es la establecida en la Instrucción 6.1 y 6.2 IC de secciones de firme, con la salvedad de que donde en ella se hace referencia al año de la puesta en servicio aquí hay que referirse al año medio de la vida útil.

Zonas complementarias. Estacionamiento.

Se considera el número de plazas de aparcamiento disponibles en la zona. Al existir más de 100 plazas totales de estacionamiento, se tomará como **elevada**.

2.4. LAS CARGAS DE CÁLCULO SEGÚN EL USO

La ROM establece una clasificación de las cargas de cálculo en bajas, medias o altas, con la particularidad de que cargas de cálculo clasificadas de la misma manera para situaciones diferentes no son necesariamente equivalentes. La clasificación de la carga de cálculo y en consecuencia la categoría de tráfico no pueden desligarse del uso de la superficie.

Para cada zona portuaria se distinguirá entre cargas de almacenamiento, que hacen referencia a las cargas de estacionamiento y almacenamiento, y las cargas de manipulación, que hacen referencia a las cargas de los equipos de elevación de embarcaciones. A fin de combinarla con la intensidad de uso y obtener la categoría de tráfico, se tomará finalmente con carácter general como clasificación de la carga de cálculo en cada zona la más elevada de las dos determinadas.

Sin embargo, en las zonas de almacenamiento se pueden distinguir dos situaciones distintas. En el caso de que exista diferenciación física y permanente entre las superficies de circulación de los equipos y las destinadas al depósito de la mercancía, se trabajará independientemente con las dos cargas de cálculo establecidas, determinando consiguientemente una categoría de tráfico para cada superficie diferenciada.

Por tanto, la clasificación de la carga de cálculo y en consecuencia la categoría de tráfico no pueden desligarse del uso de la superficie. Para cada zona portuaria se distinguirá entre cargas de almacenamiento, que hacen referencia a las cargas de estacionamiento y almacenamiento, y las cargas de manipulación, que hacen referencia a las cargas de los equipos de elevación de embarcaciones.

A fin de combinarla con la intensidad de uso y obtener la categoría de tráfico, se tomará finalmente con carácter general como clasificación de la carga de cálculo en cada zona la más elevada de las dos determinadas. Sin embargo, en las zonas de almacenamiento se pueden distinguir dos situaciones distintas.

En el caso de que exista diferenciación física y permanente entre las superficies de circulación de los equipos y las destinadas al depósito de la mercancía, se trabajará independientemente con las dos cargas de cálculo

establecidas, determinando consiguientemente una categoría de tráfico para cada superficie diferenciada.

Zona deportiva:

- Zonas de operación o varada.
 - Carga de cálculo de almacenamiento.

Para almacenamiento de embarcaciones de cualquier eslora se toma la carga de cálculo como **media**.

- Carga de cálculo de manipulación o elevación de embarcaciones.

Depende de los equipos previstos y por tanto de las cargas y presiones que transmiten al pavimento en cada rueda o cada elemento de apoyo, al estar los valores de carga entre los 120 y los 700 KN se tomará la carga de cálculo como **media**.

- Zonas complementarias. Circulación.

La carga de cálculo es la correspondiente al vehículo pesado de carretera con el sentido dado en la Instrucción 6.1 y 6.2 IC de secciones de firme: semiejes con ruedas gemelas con cargas de 65 KN y presiones no superiores, en general, a 0'9 Mpa. Tal como se determina la categoría de tráfico en la citada Instrucción, según las intensidades medias diarias de vehículos pesados, no procede en este caso la clasificación de la carga de cálculo.

- Zonas complementarias. Estacionamiento.

Se considera el destino de las plazas de aparcamiento disponibles. Se tomará una situación intermedia con estacionamiento de vehículos ligeros y pesados, así se tendrá una carga de cálculo media.

Zona pesquera:

Como para la zona deportiva vamos a dividir en varias zonas :

- Zonas de operación.
 - Carga de cálculo de almacenamiento.

Por tratarse de buques destinados exclusivamente a pesca de bajura se considerará una carga de cálculo **baja**.

- Carga de cálculo de manipulación.

Como Q_v estará entre 120 y 700 kN, se considera igualmente una carga de cálculo de manipulación **media**.

- Zonas de clasificación, preparación y venta.

Si se considera mercancía general convencional, la carga de cálculo de almacenamiento se tomará como **media**. En cuanto a la carga de cálculo de manipulación se considera la misma que en las zonas de operación.

- Vías de maniobra.

A las vías de maniobra se les asignará como clasificación de la carga de cálculo la más elevada entre las establecidas al analizar las cargas de cálculo de manipulación en las diversas zonas a las que comunica dicha vía de maniobra.

- Viales de acceso.

La carga de cálculo es la correspondiente al vehículo pesado de carretera con el sentido dado en la Instrucción 6.1 y 6.2 IC de secciones de firme: semiejes con ruedas gemelas con cargas de 65 kN y presiones no superiores, en general, a 0,9 MPa. Tal como se determina la categoría de tráfico en la citada Instrucción, según las intensidades medias diarias de vehículos pesados, no procede en este caso la clasificación de la carga de cálculo.

- Zonas complementarias. Circulación.


Lo mismo que para las vías de acceso.

- Zonas complementarias. Estacionamiento

Se mantiene lo expuesto para estacionamiento en la zona deportiva.

2.5. LA INTENSIDAD DE USO SEGÚN EL USO DE LA INSTALACIÓN

Se clasifican como reducidas, medias o elevadas. Se pretende que la intensidad media cubra la mayor parte de las situaciones que se pueden dar en un puerto. A falta de datos del puerto de Las Casas de Alcanar, la intensidad de uso se clasificará en cualquier caso como **media**.

 Para el uso deportivo :

- Zonas de operación o varada.

A falta de datos precisos se tomará como **media**.

- Zonas complementarias. Circulación.

Según la Instrucción 6.1 y 6.2 IC de secciones de firme.

- Zonas complementarias. Estacionamiento.

Se considera **elevada** al haber más de 100 plazas de aparcamiento

2.6. CATEGORÍA DE TRÁFICO

La ROM establece cuatro categorías de tráfico según la carga de cálculo y la intensidad de uso de la superficie considerada. Son válidas para todas las superficies, excepto para los viales de acceso y las zonas complementarias de circulación en las que las categorías de tráfico vienen marcadas por la Instrucción de firmes.

Según establece la Tabla 3.3, que se acompaña, en la zona de varada con intensidad de uso **media** y carga de cálculo **media** se tiene una categoría de tráfico B, tráfico pesado. En las zonas complementarias de estacionamiento se tiene una intensidad de uso **elevada** y una carga de cálculo **media**, por lo que se tiene una categoría de tráfico B, tráfico pesado.

3. RELLENOS Y EXPLANADAS

Para un correcto funcionamiento estructural de los firmes es fundamental la correcta capacidad de soporte de los materiales subyacentes. No sólo la parte superior de estos materiales tiene importancia, sino que también influyen las características de estos a varios metros de profundidad. En obras marítimas, a diferencia de obras terrestres, el apoyo está generado por un relleno situado total o parcialmente bajo el nivel del mar, por lo que no es posible su compactación directa con los medios mecánicos habituales.

En pavimentación portuaria cabe hablar de las siguientes partes: fondo, relleno y coronación. Los fondos que están bajo los rellenos portuarios son, en general, los materiales existentes, la coronación es a menudo inexistente, aunque es muy conveniente la utilización de materiales de calidad, en espesor suficiente y debidamente compactados, como algo ineludible para tener un soporte aceptable del firme. En el caso que nos ocupa la coronación estará constituida por suelos seleccionados o todo uno de cantera.

3.1. RELLENOS

Vamos a distinguir los rellenos hidráulicos y los de vertido directo

Rellenos hidráulicos

Se consiguen mediante un proceso de sedimentación de partículas sólidas contenidas en un efluente. Dicho efluente se caracteriza principalmente por su caudal y por el contenido de sólidos en suspensión.

Se va a exigir un contenido de finos $< 10\%$, que proporcionan buenos rellenos si se mantiene la superficie con pocas irregularidades para evitar la acumulación de limos y arcillas.

Rellenos de vertido directo

El vertido se realiza desde gánguiles o desde tierra. Los rellenos se realizarán con materiales terrestres entre los que se incluyen productos obtenidos de préstamos terrestres como la excavación o los desmontes, obras de dragados y de la explotación de canteras u otros yacimientos.

3.2. EXPLANADAS

La explanada se define como la superficie de la coronación del relleno sobre la que se apoya directamente el firme. El espesor de esta coronación ha de ser como mínimo de 1 metro debiendo extenderse en tongadas no superiores a los 40 cm.

La calidad de la explanada, en cuanto a capacidad de soporte, depende en gran medida de los materiales empleados en la capa de coronación y del grado de compactación obtenido en su puesta en obra, aunque también, como se ha indicado de las características del relleno, principalmente del grado de consolidación conseguido en el mismo y de su homogeneidad.

Diferentes categorías de explanadas

Para definir la categoría de la explanada como cimiento de un firme deben tenerse en cuenta diversos aspectos: naturaleza del relleno y grado de consolidación, y los materiales empleados en la coronación.

El relleno a colocar corresponde a la categoría BNC, rellenos buenos no consolidados. Se trata de rellenos hidráulicos con bajo contenido en finos ($< 10\%$) o rellenos de vertido directo con materiales terrestres, no sometidos a ningún tratamiento de consolidación.

En cuanto a la coronación se colocarán suelos seleccionados o todo uno procedente de cantera.

De estas dos clasificaciones se puede obtener la categoría de explanada conseguida, acudiendo a la tabla 4.2. de la ROM 4.1-94, la explanada conseguida es E1, Explanada Aceptable.

TABLA 4.2. CATEGORÍAS DE EXPLANADAS						
CORONACIÓN	(*) MNC	(*) RNC	(*) BNC	MC	RC	BC
Suelos adecuados	E0	E0	E0	E1	E1	E1
Suelos seleccionados	E1	E1	E1	E1	E2	E2
Todo uno de cantera	E1	E1	E1	E2	E2	E3
Suelos seleccionados con CBR > 20	E1	E1	E2	E2	E3	E3
NOTA: (*) En estos casos se construirán firmes provisionales.						

Tabla 1: Categorías de explanadas

4. MATERIALES UTILIZADOS PARA LOS FIRMES Y LOS PAVIMENTOS

Se suelen utilizar los siguientes materiales para los firmes y los pavimentos :

4.1. HORMIGÓN VIBRADO

Son pavimentos formados por losas de espesores variables, que pueden ir desde los 15 a los 40 cm, aproximadamente. El hormigón se fabrica con áridos adecuados, un mínimo de 300 kg/m³ de cemento, una relación agua / cemento relativamente baja (<0'5) y los aditivos necesarios. Se fabrica, extiende, compacta por vibración y cura para conseguir un material homogéneo, resistente a la fatiga por flexión y al desgaste por el tráfico.

Se caracterizan los hormigones por su resistencia a flexotracción a los 28 días, dada esta en kp/cm². Debe tenderse a usar hormigones HP 40, es decir, con 4 Mpa de resistencia característica a flexotracción en probeta prismática a los 28 días. En caso de emplear hormigones HP 35, debe aumentarse el espesor de la losa en 3 cm.

La puesta en obra se puede realizar con procedimientos relativamente manuales extendiendo el hormigón entre tablonos o cualquier otro tipo de encofrado y compactando mediante vibradores de aguja. Las ventajas de estos pavimentos son las siguientes:

- Resisten altas presiones de contacto
- Su superficie es excelente para la rodadura de vehículos portuarios.
- Tienen buena resistencia al deslizamiento.
- No suelen presentar deformaciones permanentes, adecuados para tráfico pesado.

- La superficie no se debilita ni por los derrames de aceites, gasoil u otros productos ni por las elevadas temperaturas.

4.2. HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO

Son pavimentos de hormigón en masa con bajos contenidos de agua (relación agua / cemento de 0'35-0'40), que han de compactarse enérgicamente con rodillos vibratorios y de neumáticos. El contenido de cemento es, sin embargo, análogo al de un hormigón vibrado, empleándose cementos especiales con elevados contenidos en cenizas volantes (superior al 35%).

La característica quizás más importante es que su construcción no requiere de maquinaria especial, además pueden ser abiertos inmediatamente al tráfico. En cambio la superficie de este pavimento puede presentar una mayor irregularidad que la del hormigón vibrado. Puede recurrirse a un fratasado para evitar disgregaciones por el tráfico.

4.3. HORMIGÓN ARMADO

Las armaduras tienen por objeto mantener cosidas las fisuras de retracción. Puede utilizarse cualquiera de las siguientes variantes:

- El hormigón armado con juntas

Las armaduras tienen la misión principal de mantener cosidas las fisuras transversales que aparecen en losas largas, de este modo se asegura la transmisión de cargas en las fisuras, se dificulta la intrusión de agua y finos y se impide la abertura en V de las grietas bajo la acción del tráfico.

Se puede considerar una técnica anticuada con más inconvenientes que ventajas, las cuales no compensan en absoluto los mayores costes.

- Pavimentos continuos de hormigón armado

En estos se suprimen las juntas transversales de contracción, gracias a aumentar la cuantía geométrica de la armadura longitudinal de acero de alto límite elástico a valores de hasta el 0'7%. Se forman muchas fisuras de abertura inferior a 0'5 mm, distanciadas entre 1 y 3 metros, prácticamente imperceptibles y que no se deterioran bajo el tráfico. Tienen mucho interés en tráfico pesados, ya que la conservación es reducida.

4.4. ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

Los adoquines son bloques prefabricados de dimensiones que permiten su colocación manual. Tienen formas muy variadas, a menudo son rectangulares. Se adaptan muy bien a los asientos que se puedan producir. La transmisión de cargas verticales entre adoquines es esencial para garantizar un buen funcionamiento de los mismos y se realiza por rozamiento a través de la arena que rellena las juntas. Para garantizar la respuesta a las acciones horizontales, el adoquinado debe estar

confinado lateralmente mediante elementos rígidos, que se denominan bordes de confinamiento. También influye la arena situada en las juntas y la disposición en planta.

Las características generales de este pavimento son las siguientes:

- ✚ Drenabilidad de la superficie.
- ✚ Fácil acceso a los servicios existentes.
- ✚ Capacidad para resistir cargas estáticas, dinámicas, impactos y cargas puntuales muy elevadas sin sufrir deformaciones importantes ni agotamiento.
- ✚ Posibilidad de adaptarse a los eventuales asientos de los rellenos portuarios.

Una desventaja estriba en la existencia de juntas muy próximas, la megatextura que crean los hace muy ruidosos cuando se circula a altas velocidades. En superficies portuarias éste es un inconveniente menor, ya que las velocidades son reducidas, además el nivel sonoro disminuye al emplear adoquinado de alta calidad, que permiten excelentes acabados.

Otro problema puede ser que las corrientes subterráneas de agua puedan socavar el apoyo y provocar hundimientos más o menos localizados. Esto se puede combatir colocando una explanada de hormigón.

El alto coste del adoquinado tiende a reducirse al aumentar la oferta de estos elementos y al desarrollarse medios de colocación que requieren menor mano de obra.

4.5. ADOQUINES DE PIEDRA LABRADA

Son el antecedente de los adoquines prefabricados de hormigón. Hoy en día es una solución costosa y con escasas ventajas técnicas. Sólo tienen razón de ser por estética en ciertas zonas, requiriendo una labra muy cuidada y una piedra de gran calidad.

4.6. PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Existen los siguientes tipos:

- ✚ Tratamientos superficiales, bien mediante riegos de gravilla (con emulsiones bituminosas) o bien con lechadas bituminosas. Mientras los primeros son muy utilizados sobre capas granulares en firmes provisionales, las lechadas se pueden emplear también en firmes definitivos para obtener determinadas características superficiales.
- ✚ Mezclas abiertas en frío (fabricadas con emulsión bituminosa), en espesores relativamente reducidos: de 4 a 8 cm. Se emplean tanto en firmes provisionales, como en firmes definitivos sometidos a tráfico ligero.

- Mezclas cerradas en caliente (fabricadas con betunes asfálticos), del tipo hormigón bituminoso. Por sus características resistentes requieren que en las secciones del firme para tráfico pesado no bajen de un espesor conjunto de 15 cm, pudiendo llegar hasta los 35 ó 40 cm.

En el caso de emplear los pavimentos asfálticos para firmes definitivos y en algunas zonas portuarias, los pavimentos de mezcla bituminosa presentan limitaciones de empleo debido a algunas de sus características, tales como:

- Poca aptitud para resistir fuertes presiones de contacto (lo que hace que sean poco aconsejables especialmente en zonas de almacenamiento).
- El derrame de aceites, gasoil y otros productos similares que disuelven lentamente el ligante bituminoso dejando una superficie propensa al arrastre. Por otra parte presentan ventajas derivadas de su versatilidad, la facilidad de puesta en obra, su adaptabilidad, su facilidad de rehabilitación superficial y refuerzo. En cualquier caso, debe considerarse como opción básica en viales de acceso.

Se emplearán mezclas bituminosas abiertas en frío del tipo S20, y bajo estas capas se dispondrán sus correspondientes riegos de adherencia e imprimación en viales y zona de estacionamiento y sólo riego de implicación en la zona peatonal. El betún será del tipo 60/70 y la relación ponderal mínima filler/betún será de 1'2.

5. DIMENSIONAMIENTO DE LOS FIRMES

Para un correcto dimensionado de los firmes debe realizarse contemplando los siguientes aspectos:

- Equipos de manipulación que se quieren utilizar.
- Características generales de estos equipos.
- Cargas transmitidas por cada equipo en las condiciones de trabajo.
- Uso de cada uno de ellos durante la vida del proyecto.
- Posibles tipos de secciones estructurales.
- Adaptación del firme a las condiciones de trabajo.
- Características superficiales exigibles.
- Inversiones previstas.

5.1. FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO DE LOS FIRMES PORTUARIOS

- Uso de la superficie portuaria.

Uso pesquero, deportivo y de recreo.

✚ Equipos de manipulación.

Equipo de manipulación formado por un travelift de 80 toneladas y otro de 45 toneladas de capacidad sobre 4 neumáticos, dos grúa de 12 toneladas de capacidad de elevación y una carretilla elevadora.

✚ Características del relleno.

Rellenos hidráulicos con bajo contenido en finos o rellenos de vertido directo con materiales terrestres, no sometidos a ningún tratamiento de consolidación. Todo ello con una coronación formada por suelo seleccionado o todo uno de cantera.

✚ Características de los materiales disponibles.

Ver el anejo de procedencia de materiales y localización de las canteras.

✚ Vida útil

El concepto de vida útil equivale al concepto de período de proyecto tal y como se emplea en la instrucción de secciones de firmes.

La vida útil de un firme portuario va unida a la propia concepción del desarrollo de un puerto. Determina el número de operaciones que el firme ha de soportar sin que deba ser dejado fuera de servicio. Se establece entre 15 y 25 años, al tratarse de una infraestructura que requiere un nivel de seguridad 1 (pequeño riesgo de pérdida de vidas humanas o deterioros ambientales en caso de rotura).

5.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS FIRMES

✚ Selección de la superficie portuaria

Uso deportivo, pesquero y de recreo.

✚ Selección de la zona dentro del uso considerado

Se tiene una zona de operación y varada, una zona complementaria de circulación y otra de estacionamiento.

✚ Distinción entre cargas de almacenamiento y de manipulación

Ambas se realizan en la zona de varada, en los muelles deportivos y en el muelle deportivo, por lo que se estudian conjuntamente.

✚ Determinación de la carga de cálculo

Vamos a optar por una carga **media**.

Determinación de la intensidad de uso

En la zona de varada se considera como **media** y en la zona de estacionamiento como **elevada**.

Determinación de la categoría del tráfico

Según los criterios de la ROM, optamos por un Tráfico B, pesado.

Determinación de la categoría de la explanada

E1, explanada aceptable, formada por 50 cm de suelo adecuado.

Capas inferiores del firme

Sobre una explanada E1 se debe extender una capa de subbase de 0'25 m de zahorra natural y otra capa de base con un espesor de 0'25 m de zahorra artificial. Si no se dispusiera de zahorra natural se puede sustituir ésta por zahorra artificial disminuyendo el espesor de la subbase en 0'05 m.

5.3. FIRMES DEL PUERTO

La zona deportiva y de varada

De acuerdo a la tabla C.1. de la ROM 4.1-94 se tiene que para una intensidad de uso **media** y una carga de cálculo **media**, se tiene una categoría de tráfico B, como ya se ha expuesto. De la tabla C.2. de la misma Instrucción, para una coronación de suelo seleccionado o todo uno de cantera y con un relleno BNC se tiene una explanada E1. Es necesario colocar una capa de subbase de 0'25 m de zahorra natural y otra capa de base con un espesor de 0'25 m de zahorra artificial.

Las tablas C.17.a. y b (ver apéndice del anejo) proporcionan para un tráfico tipo B los siguientes resultados:

Se adopta la solución de disponer una losa de hormigón vibrado HP 40 de 30 cm de espesor, con juntas de contracción separadas una distancia de, aproximadamente, 5 metros.

Zonas de estacionamiento

De la tabla C.1. de la ROM 4.1-94 se tiene, para una intensidad de uso **elevada** y una carga de cálculo **media**, una categoría de tráfico B. De la tabla C.2. de la misma Instrucción, para una coronación de suelo seleccionado o todo uno de cantera y con un relleno BNC se tiene una explanada E1.

Es necesario colocar una capa de subbase de 0'20 m de zahorra natural y otra capa de base con un espesor de 0'25 m de zahorra artificial. Las tablas C.18.a y b (ver apéndice del anejo) proporcionan para un tráfico tipo B los siguientes resultados:

Se adopta la solución de disponer una losa de hormigón vibrado HP 40 de 25 cm de espesor, con juntas de contracción separadas una distancia de, aproximadamente, 5 metros. Por fin se añade una capa de 7cm de mezcla bituminosa.

Diferentes zonas de circulación

La ROM 4.1.-94 no contempla los viales de acceso ni las zonas complementarias de circulación, por lo tanto, se dimensionarán de acuerdo a la Instrucción 6.1 y 6.2 IC de secciones de firmes.

Será en toda esta superficie, constituida por los viales de acceso y las zonas complementarias de circulación, donde se dimensionará un firme de acuerdo a la Instrucción de carreteras.

Colocaremos 20cm de zahorra natural, 30cm de zahorra artificial y una capa de rodadura de 6cm de mezcla bituminosa en caliente.

El firme a disponer en los viales de acceso será flexible, para adecuarlo al resto de pavimentos de las calles que desembocan al paseo marítimo y los accesos al puerto.

Las aceras

Para las aceras, hemos decidido colocar pavimentos de adoquín. Están constituidos por los pavimentos de 8 * 10 * 20 cm³, colocados en un cama de 3cm de arena. Utilizaremos un cemento Pórtland para la unión entre ellos.

Cálculo según la instrucción 6.1-I.C. y 6.2-I.C.

Se ha elegido la sección del firme en función de las siguientes variables:

- Tráfico pesado previsto.
- Calidad de la explanada que forma la infraestructura.
- Materiales disponibles.

Para este caso, el estudio de las mencionadas variables se detalla a continuación:

➤ Tráfico pesado previsto:

En ausencia de estudios de tráfico es necesario recurrir a hacer las siguientes estimaciones habituales en obras de similares características. Periodo de proyecto de 20 años.

Como en realidad se trata de una vía de tráfico restringido que da servicio únicamente a las actividades que se realizan en el interior, y están delimitadas, no se tendrán en cuenta aumentos en el tráfico pesado durante la vida útil del mismo. Se

adoptará un valor de 40 vehículos pesados que circulen por la calzada cada día, incluidas las camionetas de reparto, recambios, suministro de carburante y vehículos pesados mayores vinculados a la actividad del taller de reparaciones.

A la vista de estos datos, se obtiene un valor de la IMDp inferior a 50 por lo que el tráfico se califica de ligero y se corresponde a la categoría T4.

➤ Explanada.

La explanada resultante es del tipo E1 estando formada por una capa de suelo adecuado de 50 cm sobre suelo tolerable, compactada al 95% del ensayo Proctor Modificado.

➤ Materiales disponibles.

Dentro de un radio razonable se pueden obtener materiales aptos para la confección de zahorras naturales o artificiales, así como áridos necesarios para las mezclas asfálticas.

Con todas estas consideraciones y de los criterios expuestos en la citada instrucción, se adoptará la sección de firme número 411 de la misma, subbase granular de 20 cm de zahorra natural compactada al 95% del ensayo Proctor Modificado, además de una base granular de zahorras artificiales de 30 cm de espesor compactada al 98% del ensayo Proctor Modificado y una capa de rodadura de 6 cm de mezcla bituminosa.

A continuación se analizan por separado cada una de las componentes del mismo.

🚧 Explanada

En terraplenes, la calidad y categoría de las explanadas dependen de los materiales usados en la zona de coronación.

Como en este caso se precisa una explanada del tipo E1, la capacidad de soporte que se exige viene dada por el valor comprendido entre 5 y 10 a partir del ensayo del CBR.

La superficie de la explanada, como se indicó debe de quedar por encima del nivel freático debido a la especial agresividad del agua salada. Además, es conveniente adoptar otras medidas adicionales que protejan al material, por lo que se colocarán drenes subterráneos y geotextiles que aseguren la evacuación del agua infiltrada a través del firme

Subbase granular

Se define la subbase granular como la capa de material granular situada entre la base del firme y la explanada. Los materiales que la componen serán áridos naturales procedentes de machaqueo y trituración de piedra de cantera o de grava natural, escorias, suelos seleccionados o materiales locales exentos de arcillas, margas u otras materias extrañas.

Base granular

La base es el principal elemento portante de la estructura del firme, sustenta el pavimento y es el que absorbe en mayor proporción las cargas verticales transmitidas por el tráfico.

En este caso se ha optado por colocar una zahorra artificial para la base granular obtenida como mezcla de áridos, total o parcialmente machacados, según las necesidades, de manera que la granulometría resultante sea continua.

Riego de imprimación

Se define como la aplicación de un ligante bituminoso sobre una capa no bituminosa, previamente a la extensión sobre ésta, de una nueva capa bituminosa.

El ligante bituminoso a emplear en este caso es el ECI, consistente en una emulsión asfáltica de tipo catiónico especial para imprimación, formada por una suspensión de pequeñas partículas de un producto asfáltico en agua o en su caso una solución acuosa, con un agente emulsionante de carácter catiónico.

Las especificaciones de las emulsiones bituminosas catiónicas vienen recogidas en el PG-4 siendo de aplicación las normas NLT del Centro de Estudios y experimentación de Obras Públicas (CEDEX) para su normalización.

Mezcla bituminosa en caliente

Para definir completamente la mezcla bituminosa en caliente es necesario analizar por separado las características de cada uno de sus componentes: ligante bituminoso y áridos.

➤ Ligante bituminoso.

Estando en una zona térmica estival media y para una categoría de tráfico T4 se utilizará un betún asfáltico del tipo B 80/100 para la capa de rodadura. Se trata de un producto bituminoso, sólido y viscoso, preparado a partir de hidrocarburos naturales por destilación, oxidación o cracking, que contienen un tanto por ciento bajo de productos volátiles. Posee además propiedades aglomerantes y es soluble en sulfuro de carbono.

Para que se obtenga una mezcla de calidad, el ligante debe presentar un aspecto homogéneo y estar prácticamente exento de agua para que no se forme espuma cuando se caliente a la temperatura de puesta en obra.

➤ Árido grueso.

Es la fracción del árido retenida por el tamiz 2.5 UNE. Deberá ser un material que proceda del machaqueo y trituración de piedra de cantera o grava natural, en cuyo caso el rechazo del tamiz UNE mencionado anteriormente, deberá contener un mínimo de dos o más caras de fractura.

El árido deberá de estar formado por elementos limpios, sólidos y resistentes, de uniformidad razonable y exentos de polvo, suciedad, arcillas u otras materias extrañas.

➤ Árido fino.

Se define como aquella fracción del árido que pasa por el tamiz 2.5 UNE y queda retenido por el tamiz 0.080 de la misma serie. Será, como en el caso anterior procedente de machaqueo o bien mezcla de éste con arena natural. Estará formado por elementos limpios, sólidos y resistentes, de uniformidad razonable y exentos de polvo, suciedad, arcillas u otras materias extrañas.

➤ Filler.

Es la fracción mineral que pasa por el tamiz 0.080 UNE. Procede de machaqueo y la relación ponderal mínima filler/betún será de 1.3 para la capa de rodadura.

➤ Tipo y composición de la mezcla.

La mezcla a utilizar en la capa de rodadura debe de ser semidensa del tipo S 20, con una dosificación de ligante superior al 5% de la masa de los áridos, incluido el polvo mineral.